



粮食和农业遗传资源委员会

暂定议程议题 6

粮食和农业动物遗传资源政府间技术工作组

第十二届会议

2023 年 1 月 18-20 日

反刍动物消化相关微生物

目 录

	段次
I. 引言	1-6
II. 背景	7-9
III. 概述、现状和趋势	10-18
IV. 鉴定和保存	19-22
V. 可持续利用	23-26
VI. 政策、法律和体制框架	27-31
VII. 差距、需求和潜在行动	32-33
VIII. 征求指导意见	34

1. 粮食和农业遗传资源委员会（遗传委）第十七届例会通过了《粮食和农业微生物和无脊椎动物遗传资源可持续利用和保护工作计划》（下文简称“《工作计划》”）¹。《工作计划》将微生物和无脊椎动物定为功能组，遗传委预计将在 2023 年举行的第十九届例会上审议的两个功能组是：i) 土壤微生物和无脊椎动物，重点是生物修复和养分循环生物；ii) 反刍动物消化相关微生物。
2. 在第十八届例会上，遗传委决定反刍动物消化相关微生物工作应由遗传委粮食和农业动物遗传资源政府间技术工作组（工作组）于下届会议讨论²。
3. 《工作计划》规定，将根据以下参考意见讨论各功能组工作：根据遗传委之前工作和现有文献，总结保护、利用和获取以及惠益分享现状和趋势，并酌情进行开放式调查，汇编可持续利用和保护方面的最佳做法；梳理与功能组最密切相关的区域和国际组织以及其他机构，并明确潜在战略合作领域；分析差距和需求以及遗传委和成员予以解决的可能性³。
4. 遗传委之前主持开展的反刍动物消化相关微生物工作包括：2012 年出版的第 61 号背景研究文件《微生物和反刍动物消化：知识状况、趋势和未来前景》，以及 2019 年出版的《世界粮食和农业生物多样性状况》第 5.8 节“瘤胃微生物多样性”。
5. 根据《工作计划》，粮农组织委托英国贝尔法斯特女王大学编写了一份关于可持续利用和保护反刍动物消化相关微生物的背景研究文件。此项研究草案载于 CGRFA/WG-AnGR-12/23/6/Inf.1 号文件。
6. 本文件借鉴该研究草案的结论，概述了反刍动物消化相关微生物及其管理的现状，并寻求工作组指导意见，以便遗传委推进此类微生物相关工作。

I. 背景

7. 反刍牲畜生产与全球面临的两项最重要的挑战高度相关，即改善全球不断增长人口的粮食安全和营养，减缓气候变化。反刍动物能够将由于纤维含量高而无法被人类食用的植物材料转化为富含蛋白质和微量元素的可食用食物。然而，反刍动物消化系统是温室气体甲烷的主要来源。微生物，特别是生活在反刍动物前胃主要部分瘤胃中的微生物，是反刍动物消化能力和甲烷排放的关键所在。

¹ CGRFA-17/19/Report, 附录 E。

² CGRFA-18/21/Report, 第 92 段。

³ CGRFA-17/19/Report, 附录 E 第 7 段。

8. 瘤胃是复杂的动态生态系统，由厌氧细菌、瘤胃原虫、厌氧真菌、产甲烷古菌和噬菌体组成。反刍动物进食的碳水化合物被其瘤胃中的微生物分解，产生各种挥发性脂肪酸，是动物的能量来源。然而，这一过程也会产生氢气，存在于瘤胃中的古细菌利用氢气将二氧化碳转化为甲烷，再从动物嘴部排入大气中。

9. 瘤胃微生物组（瘤胃内微生物组合或群落）的特征影响动物营养供应和产甲烷古菌的可用氢数量。调解瘤胃生物群便成为可能改善动物营养和减少甲烷排放的一种方法。因此，目前亟需了解瘤胃生态和瘤胃微生物作用。

II. 概述、现状和前景

10. 瘤胃微生物组研究已进行数十年。瘤胃细菌是瘤胃微生物中最丰富且最多样化的群体，发挥多种功能，包括分解淀粉、纤维素、蛋白质和脂肪等。有些细菌种类是通用型（功能广泛），而其他则较为专用。尽管过去十年里取得了长足技术进步，但人们对瘤胃细菌功能及其与宿主和瘤胃微生物组其他组成部分的相互作用仍知之甚少。瘤胃细菌分类仍存在重大挑战。一些细菌类群在数量上占主导地位，但研究表明，数量较少的细菌类群也能对瘤胃生态系统产生重大影响。

11. 近年来，基于测序的方法促进人们深入了解瘤胃细菌的功能以及诸如宿主遗传学、宿主膳食和饲料添加剂使用等因素的影响，也是鉴定瘤胃内生物活性物质的关键工具，有望用于生物技术行业。近年来，瘤胃细菌培养能力得到显著提升。

12. 由于瘤胃古细菌在甲烷生成中具有上述重要作用，因而成为瘤胃微生物研究的一项关键目标。此类生物体是严格厌氧菌，因此，难以在瘤胃外培养，但可在实验室中培养，而且人们有关其分类、甲烷产生途径及其与其他类型瘤胃微生物（如原虫和真菌）相互作用的认识有所提升。

13. 虽然细菌是瘤胃微生物中数量最多的一类，但原虫在瘤胃中占据的空间最大（高达 50%）。瘤胃原虫仍未得到充分研究，因为其遗传结构复杂，难以开展遗传研究，在培养方面也困难重重。由于只有一种瘤胃原虫（尾钝蒴苣苔 *Epidinium caudatum*）的基因组得以测序，瘤胃原虫的功能仍然颇具争议。其中一些能够降解纤维，而另一些则利用“单一”碳水化合物。这些过程有助于饲料分解，并改善宿主动物对营养物质的吸收情况。然而，原虫也与甲烷生成有关。人们发现，进行瘤胃清除（通过化学手段去除原虫）的动物，甲烷排放量低于未清除瘤胃的动物。进行瘤胃清除的动物平均日增重或产奶量也更高。但瘤胃原虫对植物降解和甲烷生成的作用大不相同，因此，完全清除可能并非最佳策略，但选择性地从瘤胃中清除特定类型的原虫，仍然难度较高。

14. 厌氧瘤胃真菌能够强有力降解纤维，这是由于拥有大量碳水化合物降解酶，并具备物理穿透植物细胞壁的能力。后者能够增加可供定植的表面积，有利于其他瘤胃微生物。产甲烷古菌物理附着在厌氧真菌生物质上，能够加强厌氧真菌的活动。已经证明，厌氧真菌可用于提高饲料摄入量、饲料消化率、饲料效率、日增重和牛奶产量。然而，尽管存在合适的培养方法，但尚未开展常规研究。

15. 包括噬菌体（以细菌为宿主的病毒）在内的病毒，也是瘤胃微生物组的一部分。早在 20 世纪 60 年代，就从瘤胃中分离出了噬菌体。20 世纪 70 年代和 80 年代，就此开展了一些研究，但只有具有潜在生物技术应用细菌被进一步鉴定，并保存在培养物中。近年来，一些研究已分离出更多噬菌体，并对其进行了基因组测序。从其他方面可以看出，噬菌体改变了微生物组生态。然而，对其在瘤胃中的作用知之甚少。

16. 不同宿主物种和全球不同地区瘤胃微生物组分析表明，它们由核心微生物群落主导。不同之处主要由宿主膳食造成，但也受宿主的物种、品种和个体遗传学影响。瘤胃生物少数群体呈地域性分布，可能与气候变化导致的摄入植物材料变化有关，也可能与适应当地情况的反刍动物品种有关。此类“少数”群体中的微生物可能极有助于其宿主适应当地环境条件，因而是需要维护和可能进一步利用的遗传多样性库。

17. 瘤胃微生物组在动物一生中并非一成不变。刚出生的小牛往往称为“前反刍动物”，其消化系统功能更类似于其他年幼单胃动物，而非成年反刍动物。前反刍动物向反刍动物过渡发生在四到八周龄之间，与生命早期中微生物群定殖和形成密切相关。证据表明，核心微生物群在早期就已建立，并持续到成年，但数量随时间变化。然而，不同研究发现，生命早期中存在不同的微生物组合。这些差异可能由于管理方法不同造成。证据表明，诸如分娩方式、断奶前喂养、断奶年龄、早期膳食和瘤胃液接种等因素均会影响生命早期的微生物组。

18. 全球动物管理做法工业化和同质化趋势意味着很有可能局部丧失瘤胃微生物多样性。例如，在工业化系统中常见的膳食补充剂（含易消化碳水化合物），与瘤胃微生物群落简化有关，导致细菌多样性降低，可降解纤维的微生物含量下降。同样，反刍动物饲料效率提高（反刍动物农业的关键目标，旨在可持续喂养全球不断增长的人口）也与瘤胃微生物组多样性降低有关。使用饲料添加剂以减少反刍动物甲烷生成量的策略与反刍动物微生物组改变有关，可能会推动其在全球范围内进一步同质化。

III. 鉴定和保护

19. 上一节末尾所述的趋势强调，需梳理并编目瘤胃微生物群落。全球农业温室气体研究联盟近期的旗舰项目“亨盖特收集材料”（Hungate Collection）⁴，提供了 501 个瘤胃细菌和古细菌基因组，正是在此方面迈出的重要一步。然而，由于缺乏资金，该项目现已结束，仍有许多瘤胃微生物基因组尚未获取。相比全球瘤胃普查数据集（该联盟之前的旗舰项目），某些细菌类群在该项目中的代表性不足，其中无法培养的瘤胃细菌和元基因的基因组代表性严重不足。

20. 过去十年里，瘤胃科学出现重大技术进步，特别是在“组学”技术方面。虽然这有助于将瘤胃微生物组与宿主表型相关联，但在确认特定微生物的功能方面尚未取得重大进展。若要在此方面取得进展，需加强纯瘤胃微生物培养物编目。

21. 德国莱布尼兹研究所 DSMZ-德国微生物和细胞培养物保藏中心⁵和美国典型培养物保藏中心⁶等培养物保藏中心可供公开获取，对于维护全球微生物遗传多样性和确保利益相关方公开获取至关重要。但由于缺乏法律规定，许多分离物并未存放在培养物保藏中心。担忧知识产权问题导致许多具有潜在商业用途的微生物即使在专利获批并发表后仍存放在单独的储存设施中。

22. 人们普遍缺乏与具体地区相关的本地瘤胃微生物知识，而且很少培养微生物。

IV. 可持续利用

23. 如上所述，有效管理瘤胃微生物组有助于减轻反刍动物生产系统的甲烷排放。改变宿主膳食最能轻易快速改变瘤胃微生物组和甲烷生成量。潜在干预措施包括减少每单位产品排放量，以及其他能够直接减少排放的措施。前者包括提高喂养水平，降低喂养饲料成熟度和提高饲料消化率，以及降低膳食中饲料的比例。后者包括在膳食中补充甲烷抑制剂（如在瘤胃产生甲烷最后一步发挥抑制作用的 3-硝基氧丙醇 [3-NOP，商业名 Bovaer[®]]）、单宁饲料、电子汇（利用氢的化学品或微生物，能减少甲烷产生量）、油脂或油菜籽。虽然已取得可喜成果，但许多膳食方法的运作机制仍不明确。

24. 已经证明，宿主基因组能够影响瘤胃微生物组，近期全球数据显示，有望培育出能够减少甲烷排放的反刍动物。根据每日甲烷排放量（克/天）、甲烷产量（克/公斤干物质摄入量）和甲烷强度（克/公斤或升生产的产品），这种方法有可能将甲烷排放量减少 30%，同样，需进一步开展工作，弄清所产生效果背后的机制。

⁴ <https://genome.jgi.doe.gov/portal/HungateCollection/HungateCollection.info.html>

⁵ <https://www.dsmz.de/>

⁶ <https://www.atcc.org/>

25. 瘤胃微生物组（乃至反刍动物胃肠道微生物组）除了对减缓气候变化具有重要意义外，对于努力实施“同一个健康”⁷方法也至关重要。许多研究已证明人类、动物和环境微生物组相互关联，突出表明需采取综合方法应对抗微生物药物耐药性传播等问题。瘤胃细菌具有抗微生物药物耐药性基因，容易转移到其他细菌。瘤胃微生物还提供新型生物活性化合物，能用于改善人类、动物和环境健康，例如用于开发新型抗微生物药物或生物炼制。

26. 多年来，由于在促进动物健康和饲料效率方面具有优势，抗生素作为生长促进剂添加至动物饲料。随着许多国家禁止使用抗生素作为预防剂和生长促进剂，替代方法已经快速发展，包括使用直接饲喂微生物（天然存在的活体微生物来源）。虽然这种方法在反刍动物中使用仍在开发之中，但与动物幼崽健康改善、乳产量增加和生长加快相关，这表明，可能是使用抗微生物药物的可行替代方法。

V. 政策、法律和体制框架

27. 瘤胃微生物管理相关政策和法律框架包括气候变化相关框架，生物多样性保护、利用和交换相关框架，食品和饲料安全相关框架，以及市场销售相关框架。

28. 气候相关政策正日益影响瘤胃微生物工作的供资，许多供资方优先考虑努力优化瘤胃微生物组，实现甲烷减排。然而，监管框架可能阻碍此类技术应用，因为发布获批需要一定时间。在监管方面，在商品标签上说明生产过程中已减少甲烷排放，往往是灰色地带。如果消费者无法或不愿通过提高市场价格来承担此类创新成本，可能需要政府干预，支持此类技术应用。在一些国家，可能存在的障碍是，批准和使用饲料添加剂相关政策产生的成本影响。推广豆科植物和含单宁草料用作动物饲料等策略可能是成本较低的替代方案，但减排影响较小。

29. 《生物多样性公约关于获取遗传资源和公正和公平分享其利用所产生惠益的名古屋议定书》（《名古屋议定书》）在反刍动物微生物交换方面增加了繁文缛节，引发全球利用和保护参与者关注。

30. 大多数供资机构和期刊都制定了公开获取政策，确保在提交文章供审查时，文章所依据的所有数据必须已经公开。然而，涉及新型微生物分离物研究的出版物在其出版前，无需为确保公开获取而将此类分离物存放在保藏中心。这就是说，为继续研究之便和产生社会效益而共享的分离物，实际公开获取程度有限。这项

⁷ “‘同一个健康’是综合性统一方法，旨在可持续平衡和优化人类、动物和生态系统健康状况，认识到人类、家畜和野生动物、植物以及大环境（包括生态系统）的健康密切联系、相互依存”。健康高级别专家小组，Adisasmito, W.B.、Almuhairi S.、Behravesh C.B.、Bilivogui P.和 Bukachi S.A.等人，2022年。《同一个健康：可持续和健康未来新定义》，PLoS Pathogens, 18(6): e1010537。
<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010537>

重大挑战需要我们做出改变。但还需注意，此类改变包括需加强现有培养物保藏中心的基础设施，以便负责组织能够维护和提供更多分离物。

31. 反刍动物消化相关微生物保护和可持续利用涉及的主要机构和网络包括第四节中讨论的培养物保藏中心、全球农业温室气体研究联盟（也在第四节中讨论）、全球农业温室气体研究联盟家畜研究组和瘤胃微生物基因组学网络，以及全球若干具有分离和维护反刍动物微生物重要能力并自身拥有收集材料的大学和研究机构。私营部门可能也拥有收集材料，但其细节并不公开。除了上文提到的全球农业温室气体研究联盟项目，其他一些主要项目也在全球范围促进利益相关方合作，包括欧盟地平线 2020 项目“技术和企业促进微生物组在可持续粮食体系领域的应用”⁸以及反刍动物 Holoruminant 项目⁹。一些发展中国家利益相关方报告称，缺乏资金制约其参与合作活动。

VI. 差距、需求和潜在行动

32. 根据文献审查和全球农业温室气体研究联盟瘤胃微生物基因组学网络成员对于所收到非正式调查问卷的答复意见，重点强调以下差距和需求：

- 研究。为提高对瘤胃微生物组及其功能的认识，仍有许多工作有待开展。优先重点包括改进瘤胃微生物培养技术，并研究能否使用分离物作为直接饲喂微生物，从而减少甲烷排放。
- 培养物保藏中心。各期刊需坚持将其所发布研究中使用的微生物存放在可供公开获取的培养物保藏中心。培养物保藏中心需扩容，以便容纳更多材料。
- 政策框架。需审查并酌情更新相关政策、立法和体制安排，包括与获取和惠益分享以及知识产权有关的政策、立法和体制安排，确保提供适当的有利框架，促进瘤胃微生物研究与合作及其管理。还需制定政策，促进吸收该领域研究产生的创新成果，帮助减少甲烷排放。

33. 可采取以下行动在全球和国家层面改善瘤胃微生物可持续利用和保护，包括遗传委及其成员可能采取的行动：

- 成立全球专家组，确定反刍动物消化相关微生物管理活动的优先次序，并确定可持续利用和保护此类生物体面临的威胁；
- 确保为瘤胃微生物培养、编目和管理相关全球研究活动提供充足资源；

⁸ <https://www.master-h2020.eu/>

⁹ <https://holoruminant.eu/>

- 推广相关政策，确保所有纯培养的微生物分离物在发表与该生物体有关的任何数据之前存放在培养物保藏中心，以供公开获取；
- 对于可供公开获取的培养物保藏中心，应加强其管理组织的能力，以便应对分离物存放政策提出的更多要求；
- 加大对瘤胃微生物组管理研究供资，特别是在反刍动物育种和膳食创新方面；
- 推动政策和法律创新，促进在全球范围内交换瘤胃微生物样本；
- 提供激励措施，鼓励全球合作，特别是涉及中低收入国家的合作。

VII. 征求指导意见

34. 工作组不妨：

- i. 注意到此份研究报告草案并提出意见；
- ii. 建议遗传委要求粮农组织最终定稿并分发此份研究报告；
- iii. 向遗传委提出建议，说明如何回应研究报告的结论和建议，以及需要采取哪些后续行动，确保遗传委及其成员继续加强其反刍动物消化相关微生物工作；
- iv. 建议遗传委要求粮农组织确保在其反刍动物消化相关微生物工作中考虑此项研究的结论；
- v. 建议遗传委邀请各国促进可持续利用和保护反刍动物消化相关微生物，并确保在相关地方、国家、区域和国际政策及政策制定进程中适当考虑。